

Aus der II. Chirurgischen Abteilung des Bürgerspitals Basel
(Chefarzt: Prof. Dr. H. Heusser)

Beitrag zum Problem der Wärmestauung und des Hitzschlages

INAUGURAL-DISSERTATION

zur Erlangung der Doktorwürde der Medizinischen Fakultät
der Universität Basel

vorgelegt von

WERNER BAERLOCHER

von Thal (St. Gallen)

DRUCK: HALLWAG BERN
1955

Von der Medizinischen Fakultät genehmigt auf Antrag
von Professor Dr. H. Heusser

Tag der Promotion: 3. März 1955



Erschienen in der Zeitschrift
PRAXIS, Schweiz. Rundschau für Medizin
Jahrgang 44, Heft 20

Aus der II. Chirurgischen Abteilung des Bürgerspitals Basel
(Chefarzt: Prof. Dr. H. Heusser)

Beitrag zum Problem der Wärmestauung und des Hitzschlages

Von *Werner Baerlocher*

Einleitung.

Akute Hitzeschädigungen, d. h. allgemeine Krankheitszustände, die durch grosse Hitze verursacht sind, werden vornehmlich in heissen Ländern oder bei industrieller Arbeit in grosser Hitze zu erwarten sein. Sie können aber auch in unsern Landen und unter äussern Verhältnissen, die nicht ohne weiteres an eine derartige Wirkung der Körperumwelt denken lassen, in Erscheinung treten, besonders dann, wenn durch das Zusammentreffen einer besonderen Konstitution oder Krankheitslage des Menschen mit unerwarteten und nicht genügend als schädlich gewürdigten äusseren Einwirkungen eine Diskrepanz zwischen dem aktuellen Wärmeregulationsvermögen des Organismus einerseits und der Hitzeeinwirkung anderseits entsteht. Es sei in diesem Zusammenhang an Hitzschläge im Militärdienst, bei anstrengender Arbeit oder bei sportlichen Veranstaltungen und es sei auch an immer wieder mögliche Fälle von akuter Wärmestauung bei chirurgischen Patienten im Operationssaal erinnert. So ist die Hitzeschädigung nicht nur eine uns fernerliegende Angelegenheit des Tropenbewohners, sondern in bestimmten Fällen auch eine

solche des im mittleren Klima ansässigen Menschen. Damit besteht auch für die Aerzte unserer Gegenden die Notwendigkeit, über das Wesen, die Diagnose, die Prophylaxe und die Therapie der Hitzeschädigung unterrichtet zu sein.

Der menschliche Organismus ist bestrebt, seine Körpertemperatur ungeachtet der vielfältigen Umwelteinflüsse auf einem bestimmten Temperaturoptimum von 36,5—37,5 zu halten. Er muss dies tun, weil sein Organismus in seinen biologischen Funktionen weitgehend temperaturabhängig ist. Die Art und Weise, wie dies geschieht, ergibt sich aus der Lehre vom Wärmehaushalt.

Physiologie des Wärmehaushaltes

Wärmeproduktion:

Körperwärme, d. h. geregelte Nachproduktion an Wärme, wird erzeugt durch die Sauerstoffverbrennung der aufgenommenen Nahrungsstoffe oder von körpereigenen Stoffen, denn der Mensch kann nur Arbeit leisten, wenn die dazu notwendige Kraft durch Verbrennung dieser Stoffe erzeugt wird.

Nach *Rubner* vermag ein erwachsener Mensch in 24 Stunden in Ruhe 2303, bei mittlerer Arbeit 2843 und bei schwerer Arbeit 3361 Kalorien durch die chemische Wärmeregulationsfähigkeit zu bilden, die sich zusammensetzen als Nebenprodukt bei den täglichen Arbeitsleistungen, bei den Stoffwechseltvorgängen der Organe, bei der Drüsentätigkeit, beim intermediären Stoffwechsel und als spezifisch-dynamische Wirkung der Nahrungsstoffe.

Nach anderen Autoren beträgt die innere Wärmeproduktion z. B. bei absoluter Ruhe (Grundumsatz) ca.

Sitzen	60 cal/h
Stehen	80 cal/h
Gehen in Ebene	100 cal/h
Bergsteigen	180 cal/h
Treppensteigen	400—600 cal/h
	1100 cal/h

Verdauungstätigkeit steigert den Grundumsatz von 5—30 %.

Lastentragen proportional der Gewichtszunahme.

Die für die Arbeitsleistung benötigte Energie wird nur zu 30 % des herangezogenen Brennwertes ausgenutzt. So führen ca. 70 % des Brennwertes zu einer entsprechenden Erhöhung

der Temperatur. Es würde z. B. ein Gesamtumsatz von 100 cal/h, wie er annähernd bei strenger Marschleistung mit feldmarchmässigem Gepäck und leichter Steigung notwendig ist, den Körper um über 10 Grad in der Stunde erwärmen, wenn keine Wärmeabgabe stattfinden würde. Ausserdem erfolgt Wärmeaufnahme auch aus der Umgebung, und zwar durch *Konduktion* und *Konvektion* und *Strahlung*. Doch spielen diese Arten der Wärmeregulation eine bedeutend grössere Rolle für die *physikalische Wärmeabgabe*, da schon bei Ruhe für adipöse Leute Abkühlungsgrössen von 450 cal m²/h und für mittel- bis untergewichtige ca. 350 cal m²/h nötig sind.

Wärmeabgabe:

Geregelte Wärmeabgabe ist nur möglich, wenn ein Wärmetransport vom Körper her zu den äusseren Körperschichten stattfindet. Dieser Wärmetransport wird zahlenmässig festgehalten in der Wärmedurchgangszahl. Diese besitzt einen Minimalwert $\lambda = 0$, wenn die Blutzirkulation auch Null ist.

Zur Berechnung dieser Grösse stellte Thauer folgende Formel auf: Q = durchflossene Wärmemenge, T₁—T₂ Differenz zwischen Mastdarm- und Hauttemperatur, 0 Körperoberfläche.

$$\lambda = \frac{Q}{T_1 - T_2 / 0 \cdot t} \text{ (cal/cm}^2 \text{ Grad)}$$

Die Wärmeabgabe durch die Haut durch *Konduktion* und *Konvektion* bei konstanter Leitfähigkeit der Luft ist abhängig von

1. der Hauttemperatur,
2. der Lufttemperatur,
3. der Grösse der Luftbewegung der Aussenwelt,
4. vom Luftdruck,
5. von der Grösse der wirksamen Oberfläche.

Als Regulationsmechanismus dient die Hauttemperatur und die Grösse der Körperoberfläche, indem durch vergrössertes oder vermindertes Minutenvolumen und der damit zusammenhängenden Wärmetransportfunktion die Hautdurchblutung reguliert wird.

Der Wärmeverlust durch die Atmung ist abhängig von der Temperaturdifferenz zwischen Einatmungs- und Ausatemsluft, der Menge, der Dichte und der spezifischen Wärme.

Als Regulationsmechanismus dient auch hier die Minutenvolumenänderung und damit die Aenderung der Schleimhauttemperatur.

Wärmeverluste durch *Abstrahlung* sollen abhängig sein von der Intensität der Sonnen- und Himmelsstrahlung, von der Temperatur und Strahlungszahl der Haut, von der Temperatur und Strahlungszahl der Gegenflächen, von der wirksamen Oberfläche des Körpers. Regulierend wirken Hauttemperatur und Oberflächengrösse. Bei nacktem Körper und einer Aussentemperatur von 18—20 Grad werden ca. 1800 cal in 24 Stunden abgestrahlt. Bei normaler Kleidung verringert sich der Wert auf ca. 1200 cal.

Bei Aussentemperaturen von über 28—30 Grad, z. B. in den Tropen, im Dschungel, bei schwerer körperlicher Arbeit, in Hitzebetrieben, bei Marschleistungen, bei schwülem Wetter, im Militärdienst und nach reichlicher Eiweissnahrung (spezifisch-dynamische Wirkung) wird die Wärmeabgabe durch *Wasserverdunstung* (Perspiratio) gesteuert. Bei einer solchen Ueberproduktion des Körpers an Wärme ist die Möglichkeit der Abgabe des Ueberschusses durch Strahlung und Leitung erschöpft. Eine zusätzliche Temperaturabgabe des Körpers kann durch die Zuhilfenahme der Wasserverdampfung unter Mitbeteiligung eines Schweissausbruches u. U. schon bei sehr niedriger Umwelttemperatur zustande kommen. Der Wärmeverlust wird durch das Verdampfen des Schweisses vermehrt; Bedingung ist allerdings, dass der Wärmenachschub in die Oberfläche einerseits durch eine vermehrte Leitfähigkeit der verhornten Oberfläche gesteigert wird. Durch die Durchfeuchtung mit H_2O wird die Leitfähigkeit um mehrere 100 % gesteigert. Andererseits ist der Wärmenachschub streng an das Minutenvolumen des Herzens gebunden. Wird dieses vermehrt, tritt eine Vermehrung der Wärmetransportfunktion des Blutes ein, und die Leistung des blutdurchströmten Gefässnetzes, das die Funktion eines Kühlapparates erfüllt, wird gesteigert. Die Erweiterung der Hautgefässe geschieht teils direkt durch Hitzeeinwirkung von aussen, teils durch nervöse Zentralstellen oder sogar durch reflektorische Selbststeuerung des Kreislaufes.

Ausser der Wasserdampfmenge, d. h. aus dem Wasserverlust (V), der aus der Perspiratio insensibilis (unmerkliche Hautwasser-

abgabe) und der Perspiratio sensibilis (Schweiss) besteht, errechnet sich die abgegebene Wärmemenge zu

$$580 \cdot V \text{ cal/cm}^2 \text{ min,}$$

da 1 g Wasser bei 27 Grad Celsius 580 cal zur Verdunstung braucht.

Die Wasserverdunstung auf der Hautoberfläche ist aber wieder abhängig von der Hauttemperatur, von der Wasserbeschickung der Haut, von der Luftfeuchtigkeit, von der Stärke der Luftbewegung, vom Luftdruck und von der Grösse der wirksamen Körperoberfläche. Als Regulationsmechanismus wirken dabei die variable Hauttemperatur, die Wasserbeschickung der Haut und die Oberfläche. Durch geeignete Messvorrichtungen konnten Verdunstungsmengen von bis zu 10 l Wasser gemessen werden.

Die Wasserverdunstung durch die Atemwege spielt eine wesentlich weniger wichtige Rolle.

Der Wärmeverlust (V1) lässt sich ebenfalls nach Büttner aus dem Minutenvolumen der Atmung (M) und der Differenz zwischen dem Dampfdruck der Aus- und Einatemungsluft (eA—eL) berechnen.

Formel:

$$V1 = M \frac{580}{1000} \cdot Z (eA - eL) \text{ cal/min.}$$

580 = Verdampfungswärme des Wassers.

Z = Umrechnungszahl von Dampfdruck in Dampfdichte.

Abhängig wird der Wärmeverlust vom Dampfdruck, bzw. der absoluten Feuchte und der Temperatur der Einatemungsluft vom Minutenvolumen der Atmung und von der Temperatur der Schleimhäute. Die Ausatemungsluft enthält nach Messungen von Galeotti 34—35 mg Wasserdampf pro Liter. Dies entspricht bei einer normalen Temperatur von 32,5 bis 33,5 Grad einer praktisch vollständigen Sättigung der Ausatemungsluft, d. h. pro Liter Luft werden ca. 27 mg H₂O aufgenommen, welche bei einem Luftverbrauch von 400 l pro Stunde 10,8 g H₂O ausmachen, wozu es zur Verdunstung 6,26 cal braucht.

Der prozentuale Wärmeverlust durch die Atmung in feuchtheissem Klima ist äusserst gering, so dass die Abkühlung hauptsächlich durch die Hautverdunstung erfolgen muss.

Verschiedene Autoren finden für die einzelnen Komponenten der Wärmeabgabe des Menschen folgende Werte: (in % der Gesamtwärmeabgabe):

Wärmeabgabe durch	Rubner	Büttner	Du Bois	Benedikt Milner
Leitung	30.85	26	10—12	74.6
Strahlung	43.74	42	60	
Erwärmung der Atem- luft	1.29	2	nicht an- gegeben	2.3
Wasserdampfabgabe der Atmung		10.0		9.6
Wasserdampfabgabe der Haut	20.6	20.0	24—25	12.4
		30		22.0

nach R. Thauer

Die Angaben stimmen auch überein bei Veränderung der einzelnen Grössen, wie der Umweltsbedingungen, der Aussentemperatur, des Windes, der Abstrahlungsverhältnisse und der Luftfeuchtigkeit. Genauere Messungen der Abkühlungsgrösse werden mit dem Katathermometer von *Mill*, dem Frigorimeter nach *Dorno* und dem Frigorigraph nach *Pfleiderer* gemacht.

Wärmebilanz:

Der menschliche Organismus ist also bestrebt, mittels dieser chemischen und physikalischen Wärmeregulationsmechanismen den Körper auf einer Durchschnittstemperatur zu halten.

Nach *Burton* und *Murlin* kann sie nach der Formel

$$T_d = 0.7 \cdot T_r + 0.3 \cdot T_h$$

berechnet werden und beträgt ca. 35,4 Grad.

T_d = Durchschnittstemperatur des Körpers.

T_r = Mastdarmtemperatur.

T_h = Hauttemperatur.

Ganz allgemein wird heute angenommen, dass diese wärmeregulatorischen Mechanismen einem zentralen Temperaturregulationszentrum untergeordnet sind. Eine genaue Lokalisation lässt sich allerdings nicht feststellen. Es soll sich aber um die graue Substanz, welche die untern Abschnitte der Wand und des Bodens des dritten Ventrikels und den Eingang zum Aquaeductus umfasst, den Subthalamus und Hypothalamus handeln. Dass die Wärmeregulation auch durch innersekretorische Drüsentätigkeit beeinflusst wird, darf anerkannt werden. Nach *v. Berde* werden von der Schilddrüse bei hohen Aussentemperaturen Thyrothyrene A + B sezerniert, um der Oxydationswirkung des Thyroxins entgegenzuwirken, womit die Körpertemperatur tiefer gehalten werden kann.

Aus Tierversuchen geht auch hervor, dass der Nebenniere, d. h. sowohl Mark wie Rinde, eine Bedeutung für die Wärmeregulation zukommt, dass das Mark allerdings zur konstanten Haltung der Körpertemperatur entbehrlich ist.

Eine grundlegende Rolle als Regler der Körpertemperatur spielen zweifellos die Temperaturempfänger der Haut. Den adäquaten Reiz für Temperaturrezeptoren bildet die Veränderung des durch die Haut hindurch bestehenden Temperaturgefälles. Dieses ist zugleich Mass für den Abstrom nach aussen, also gerade ein wichtiger Faktor jener Grösse, die regu-

liert werden sollte. So ist durch die über die gesamte Körperoberfläche verteilten Thermorezeptoren jeder einzelne Punkt der Oberfläche hinsichtlich seines Wärmeverlustes überwacht, und zwar unabhängig von seiner Eigentemperatur, bzw. der absoluten Temperatur der Umwelt. Es ist daher anzunehmen, dass für die «physikalische Wärmeregulation» die gleichen Empfangsorgane wie für den Temperatursinn von grundlegender Bedeutung sind.

Ebbecke beschreibt einen Gesichtsreflex des Trigeminus, der die Gesichtshaut in sensibler Hinsicht versorgt als Wärmeschutzreflex des Kopfes: Sobald heisse Luft die Gesichtshaut umweht, tritt folgende Regulation ein: Tachykardie, wärmebildungshemmender Stoffwechselreflex, damit weniger Wärme entsteht zum Abgeben, Steigerung der Blutzufuhr in Arme und Beine und Abdomen und relative Drosselung der Arterien, die zum Gehirn und zur Schädelskalotte führen (ca. 50 % Drosselung der Durchblutung). So entsteht ein Schutz vor Hitzeschädigung. Bei zu starker Drosselung entsteht Anämie und damit die Benommenheit.

Hitzeerkrankungen

In einer bedeutenden Arbeit aus dem letzten Jahrhundert über den Hitzschlag hat *Hiller* fünf Krankheitsformen der Wärmeschädigung auf Grund der hervorstechendsten Krankheitssymptome unterschieden:

Als *Marschohnmacht* bezeichnet er einen Zustand, der z. B. bei anstrengenden militärischen Märschen in grosser Hitze auftreten kann. Die betroffenen Leute klappen unter allgemeiner Erschlaffung zusammen, erholen sich aber nach Entfernung aus der Marschkolonne, nach Niederlegen und unter absoluter Ruhe, verbunden mit leichter Kühlung, sehr rasch.

Eine besonders häufige Form sei die *Hitzschlags-Asphyxie* mit Pulsschwäche, Atemlosigkeit, Muskelzuckungen und Krämpfen, Zyanose und Bewusstlosigkeit.

Eine rein *thermische Form des Hitzschlages* soll an Orten vorkommen, wo sehr hohe Aussentemperaturen herrschen, wie in den Tropen und besonders im Dschungel. Der gesunde, aber noch tropenungewohnte Europäer sinkt plötzlich zusammen, zeigt Benommenheit, Schwindel, Schwäche, stark beschleunigte Atmung und jagenden Puls. Nach kurzem Schweissausbruch sistiert die Schweissbildung, und die Haut fühlt sich trocken und heiss an. Oft verbindet sich diese asphyktische Form mit der *urämischen*, die durch ausgesprochene Oligurie oder Anurie charakterisiert ist. Es treten Erbrechen, u. U. Durchfälle und meist auch periodische Konvulsionen auf.

Bei der *hämostatischen Form*, die als terminaler Zustand der Hitzeschädigung angesehen wird, treten Hirn- und Lungenödem auf.

Henschen betrachtet die Erscheinungen der Hitzekrankheit von der pathologisch-anatomischen Seite aus und unterscheidet eine kardiale Form mit akuter Herzdilatation, eine zerebrale Form mit Delirien und Krämpfen, miliaren Blutungen im Gehirn und Hämatomen der Dura, und schliesslich eine abdominale Form, die durch Parenchymdissoziation und Vergrösserung der Leber gekennzeichnet ist.

Katsch zählt die verschiedenen Bilder der vorübergehenden Hitzeohnmacht, der deliranten Formen mit Angstbewegungen, Halluzinationen und Illusionen und die Hitzekrämpfe auf. Dämmerzustände sollen häufig vorhanden sein.

Alle die in diesen genannten Arbeiten und in weiteren zahlreichen Veröffentlichungen beschriebenen Formen lassen sich wohl in die heute anerkannten *drei Hauptgruppen der Hitzeerkrankungen*, der Hitzeerschöpfung, des Hitzschlages und der Hitzekrämpfe, einreihen.

Die *Hitzeerschöpfung* beginnt mit Schwächeanfall, Ohrensausen, Schwindel und Kollaps und Bewusstlosigkeit. Der Puls ist beschleunigt und weich, klein und wenig gefüllt. Der Blutdruck ist sehr niedrig, die Temperatur braucht nur wenig erhöht zu sein. Die Atmung ist unregelmässig, und es ist ein Kreislaufversagen zu konstatieren.

Der eigentliche *Hitzschlag*, bei welchem Störungen von seiten des zentralen Nervensystems im Vordergrund stehen, kommt nur bei länger dauernder, ununterbrochener Hitzeeinwirkung zustande. Schwäche, Kopfschmerzen, Schwindel und nervöse Unruhe finden sich als Vorsymptome. Es treten Erregungs- und Depressionszustände auf, Störungen im Gebiete einzelner Hirnnerven, Körpertemperaturen über 40 Grad Celsius. Das plötzlich eintretende Schwitzen kann ebenso plötzlich wieder verschwinden, und die Haut ist trocken, heiss, oft sogar mit Petechien bedeckt. Der Puls ist unregelmässig, beschleunigt. Auch die Atmung kann sehr beschleunigt sein und wird mühsam, unregelmässig und stertorös. Das Gesicht erscheint livid. Meist folgt ein Versagen aller körperlichen Regulationsmechanismen und Exitus.

Das eindrucklichste Bild der Hitzeerkrankung ergeben die *tonisch-klonischen Hitzekrämpfe*, besonders der Vorderarme, der Unterschenkel- und Bauchmuskulatur, welche über Stunden dauern können. Nach *Moss* werden diese sogar begünstigt, wenn nicht gar ausgelöst durch reichliches Trinken von Wasser oder überhaupt durch Ueberlastung des Magen-Darm-Traktes, obwohl Diarrhoe, Erbrechen sehr früh auftreten können.

Aber auch diese Differenzierung in drei anscheinend voneinander unabhängige Krankheitsbilder ist möglicherweise un-

nötig. Es hat vielmehr den Anschein, dass sich die vielgestaltigen Krankheitserscheinungen des Hitzeschadens zu einem ganzheitlichen und abgerundeten Bild zusammenreihen lassen, dessen äussere Verschiedenheit wohl nur durch den zeitlichen Ablauf der Wärmestauung im Organismus bedingt ist.

Dieser zeitliche Ablauf gestaltet sich — kurz zusammengefasst — folgendermassen:

Im Vorstadium zeigen sich Blutandrang zum Kopf, Kopfschmerzen, Uebelkeit, Erschöpfungsgefühl, Schwere der Beine, Augenflimmern, Gähnen, Schwindel, Taumel, Puls- und Atembeschleunigung. Der akute Hirnschlag tritt als plötzlicher Zusammenbruch unter der Hitzeeinwirkung oder als verzögerter Zusammenbruch noch Stunden nach der Hitzeschädigung auf. Es folgen Bewusstseinsstörungen von Somnolenz bis Koma, Krämpfe und Delirien. Wut- und Angstaffekte sind Zeichen einer ungünstigen Prognose. Seltener sind Lähmungen und Sprachstörungen. Im dritten Stadium tritt langsame Erholung ein, oder es folgt ein unaufhaltsames Versagen der lebenswichtigen Zentren und Systeme und schliesslich der Hitzetod.

In diesem zeitlichen Ablauf des Hitzeschadens tritt das Stadium des Hitzschlages so markant hervor, dass sich die weiteren Ausführungen der vorliegenden Arbeit mit ihm allein beschäftigen sollen.

Der Hitzschlag

Pathologische Physiologie des Hitzschlages

Das normale und für das Leben des Organismus unerlässliche Wärmegleichgewicht des menschlichen Körpers wird von den beschriebenen Regulationsmechanismen des Wärmehaushaltes garantiert. Eine Wärmestauung des Körpers tritt ein, wenn eine Wärmeproduktion stark gesteigert wird und die Wärmeabgabe nicht entsprechend vermehrt werden kann. Die patho-physiologischen Folgen der Wärmestauung betreffen die verschiedenen Körpersysteme.

Herz und Kreislauf: Als Folge der von aussen einwirkenden Hitze und des Bedürfnisses nach vermehrter Wärmeabgabe ergibt sich eine vermehrte Durchblutung der Haut. Das Kapillarnetz der Haut wird erweitert; der Blutdruck sinkt ab, zuerst in die Diastole, später auch in der Systole. Die Pulsfrequenz wird gesteigert, und das Minutenvolumen nimmt vor-

erst zu. Das erweiterte Gefässvolumen wird von eiweissreicher Gewebsflüssigkeit angefüllt, so dass eine Reduktion der Blutkörperchenzahl pro mm³ resultiert. Durch diese Umstellung des Kreislaufes ergibt sich ein Wärmetransport aus dem Körperinnern an dessen Oberfläche und eine vermehrte Wärmeabgabe nach aussen, und zwar durch Strahlung, Leitung und Schweissabgabe.

Die Beanspruchung des Herzens kann durch diese Vorgänge sehr erheblich sein, und es sind darüber ausgedehnte Versuche angestellt worden (Lit. bei Högger), welche ausserdem zeigen, wie sehr die Möglichkeit der Wärmeregulation unter ungünstigen Verhältnissen von der Leistungsfähigkeit dieses Organs abhängig ist.

Ausser den Hautkapillaren erfahren auch die Haargefässe der Schleimhäute der Luftwege eine Erweiterung, wobei diese Schleimhäute anschwellen und den Durchgang der Luft durch die Atemwege verengern. Die von verschiedenen Forschern nachgewiesene Veränderung der Vitalkapazität ist wohl auf diesen Vorgang zurückzuführen.

Tritt durch vermehrte Wasserabgabe durch die Haut eine Dehydration des Körpers ein, so setzt die vorhandene Eindickung des Blutes und die Verminderung seines Volumens der freien Zirkulation und ihrem Motor, dem Herzen, weitere Schwierigkeiten entgegen (Adolph).

Mit steigender Hitzegewöhnung nimmt die Beanspruchung des Herzens ab. Die Pulsfrequenz sinkt wieder im Sinne einer Anpassung, das Minutenvolumen bleibt konstant oder ist nur wenig gesteigert, weil die Blutzirkulation im Körperinnern eingeschränkt ist. Andererseits kommt es zu einer Arbeitshypertrophie des Herzens, zu einer tonogenen Dilatation, und diese ist prinzipiell nach Aussetzen der besonders strengen Hitzearbeit reversibel. Die elektrokardiographischen Untersuchungen von akut wärmegeschädigten Menschen zeigen neben dem Auftreten der Arrhythmien T-Abflachungen, Senkungen der ST-Strecken und deutliches Positivwerden von P. Genauere Untersuchungen liegen allerdings bis heute noch nicht vor.

Atmung: Durch strenge Arbeit bei grosser Hitze werden an das Atemsystem, besonders an die Lungen und Atemmuskeln, grossen Anforderungen gestellt. Sowohl die Steigerung der Körpertemperatur wie die erhöhte Muskelaktion ver-

ursachen ein erhöhtes Sauerstoffbedürfnis, und der Organismus reagiert darauf mit einer vertieften und frequenten Atemtätigkeit. Durch diese Hyperventilation wird mehr Kohlensäure abgegeben, als Sauerstoff aufgenommen wird, was dadurch erklärt wird, dass die Sauerstoffhämoglobinbildung schlechter ist als die Kohlensäurebindung, besonders wenn bei erhöhter Temperatur die Sauerstoffbindungsfähigkeit des Blutes vermindert wird (*Barcroft*). Durch diese vermehrte Abatmung von Kohlensäure erleidet das «innere Milieu» eine deutliche Veränderung, und es entsteht eine respiratorische Alkalose, vergesellschaftet mit Anoxie. Die aktuelle Reaktion des Blutes kann von der Norm (pH 7.4) bis zu einem Wert von pH 8—pH 9 ansteigen. Die einmal eingetretene Anoxie verstärkt wiederum die Atemtätigkeit und verlangt das Inbetriebsetzen der auxiliären Atemmuskulatur. — Wie weit an der thermischen Ueberbelüftung die bereits erwähnte Hyperämie und Schwellung der Luftwegsschleimhäute ursächlich beteiligt ist, wird verschieden beurteilt.

Die Folgen der Anoxie bedingen eine Herabsetzung aller Lebensfunktionen des Organismus. So tritt eine allgemeine Erschöpfung ein, die sich in Trübung des Sensoriums und Muskeler schlaffung äussert und oft von Zyanose begleitet ist. Der Sauerstoffmangel führt zu einer Störung des Stoffwechsels und zu einer Schädigung der parenchymatösen Organe und nicht zuletzt zu einer erhöhten Durchlässigkeit der Kapillaren.

Benz konnte bei einer Anzahl von Hitzschlaganfällen in der Nähe des Temperatur- und Atemzentrums Stammganglien-Gefässverkalkungen finden und erwartet von solchen Konkrementablagerungen funktionelle Minderwertigkeit der davon direkt betroffenen wie der unmittelbar anstossenden Organteile. Ein eindeutiger Zusammenhang zwischen solchen Verkalkungen und der Hitzeschädigung lässt sich allerdings nicht feststellen.

Wasser- und Salzhaushalt: Wie bereits dargelegt worden ist, wird der Organismus normalerweise von der im Körper produzierten oder ihm von aussen zugeführten Wärme durch Strahlung, Leitung, Konvektion und durch die Perspiratio insensibilis befreit. Befindet er sich in warmer Aussentemperatur, so fallen diese Faktoren zum Teil aus oder werden ungenügend, so dass ein weiteres Moment in Aktion treten muss, der Schweissausbruch.

Durch das Schwitzen, das durch eine Erhöhung der Durchschnittstemperatur des Körpers ausgelöst wird, werden je nach Bedarf und je nach Körperzustand verschieden grosse Mengen an Flüssigkeit ausgeschieden. *Högger* hat bei Hitzearbeitern während einer achtstündigen Arbeitsschicht Verluste von 1,5 bis 9 l beobachtet, und *Mach* spricht von Tagesabgängen bis zu 18 l bei Arbeitern in Bergwerken. Die Fähigkeit zum Schwitzen ist anscheinend individuell sehr verschieden und wechselt wesentlich, je nachdem es sich um hitzetrainierte oder hitzeungewohnte Menschen handelt. Der Gehalt des Schweißes an Kochsalz wird mit 0,02 bis 0,13 % angegeben (*Berry*), soll aber nach anderen Autoren u. U. noch höher sein, z. B. bis 0,4 % nach *Lee* und *Mulder* und nach *Böttner*. Nach diesen Daten ist beim starken Schwitzen ein ganz erheblicher Verlust von Wasser und ein durchaus merkbarer Abgang von Salzen in Rechnung zu setzen. Auf den Wasser- und Salzhaushalt des Körpers wirken sich diese Verluste sehr verschieden aus, je nachdem, ob mit diesen Abgängen allein kalkuliert werden muss oder ob ein teilweiser oder vollständiger Ersatz von Wasser und Salz stattgefunden hat.

Um einen Ueberblick über die vorhandenen Möglichkeiten zu geben, sollen am Beispiel eines 60 kg schweren Menschen auf Grund theoretischer Berechnung (*Heusser*) und ohne Einbeziehung der durch den Urin vorkommenden Abgänge folgende Fälle dargestellt werden:

Der gewählte Patient habe normalerweise einen Gesamtwassergehalt (G) von 42 l, ein Zellwasservolumen (Z) von 30 l und ein Volumen der Extrazellulärflüssigkeit (E) von 12 l sowie eine Salzkonzentration im Plasma (K) von 300 mAeq/l. Er habe zum Zweck der Wärmeabgabe 1000 cm³ Wasser durch die Perspiratio und 8000 cm³ durch abundantes Schwitzen verloren und zusätzlich 18 g Kochsalz abgegeben.

Fall a: Kein Ersatz von Wasser und Salz. Der Verlust der hypotonischen Salzlösung (Schweiss) führt zu einer *Dehydration mit Hypertonie des Plasmas* und des ganzen «Milieu intérieur»; die Berechnung des Schlusszustandes ergibt:

$$G = 33 \text{ l} \quad Z = 24,75 \text{ l} \quad E = 8,25 \text{ l} \quad K = 363 \text{ mAeq/l.}$$

Das heisst mit andern Worten, dass sich der Verlust von 9 l Wasser theoretisch zu 3,75 l auf die extrazelluläre Flüssigkeit und zu 5,25 l auf die Zellflüssigkeit verteilt und dass die Salzkonzentration auf 363 mAeq/l ansteigt.

Fall b: Ersatz des Wassers, aber ohne Salze. Es entsteht eine reine *Dechloration mit Hypotonie* und innerer Wasserverschiebung.

Die entsprechenden Zahlen sind:

$$G = 42 \text{ l} \quad Z = 31,5 \text{ l} \quad E = 10,5 \text{ l} \quad K = 286 \text{ mEq/l.}$$

Fall c: Bei einem ungenügenden Ersatz der Verluste, wie er klinisch wohl am häufigsten vorkommt und sicher auch einem übertriebenen Ersatz vorzuziehen ist, wird immer eine gewisse Dehydratation resultieren. Wie sich die Salzkonzentration im Plasma stellt, hängt vom Verhältnis Wasser : Salz in der Zufuhr ab.

Beispiele: 1. Ersatz von 6 l Wasser und 9 g Salz ergibt eine *Dehydratation mit Hypertonie* des Plasmas und folgende Zahlen:

$$G = 39 \text{ l} \quad Z = 28 \text{ l} \quad E = 11 \text{ l} \quad K = 315 \text{ mEq/l.}$$

2. Ersatz von 8 l Wasser und 6 g Salz ergibt eine *Dehydratation mit Hypotonie* des Plasmas und nachstehendes Rechnungsergebnis:

$$G = 41 \text{ l} \quad Z = 30,25 \text{ l} \quad E = 10,75 \text{ l} \quad K = 298 \text{ mEq/l.}$$

Fall d: Theoretisch besteht sicher die Möglichkeit, dass in einem bestimmten Krankheitsfall auch ein überschüssender Ersatz von Wasser und Salz gegeben wird. Praktischerweise wird dies jedoch beim Bewussten, der noch per os Flüssigkeit und Speisen aufnehmen und bei Ueberschuss verweigern kann, selten vorkommen, ganz abgesehen davon, dass auch die noch gut arbeitenden Nieren beizeiten regulierend eingreifen würden. Handelt es sich jedoch um einen Bewusstlosen, der mit Infusionen behandelt werden muss und dessen Nieren möglicherweise ihre Funktion mehr oder weniger eingebüsst haben, dann ist immerhin die Möglichkeit einer iatrogenen Ueberwässerung oder Uebersalzung gegeben. Wird angenommen, dass der Patient unseres Beispiels in bewusstlosem Zustand in Behandlung kommt, dann sollte er lege artis einen ansehnlichen Teil der Verluste ersetzt erhalten. Geschieht dies z. B. mit je 3 l Traubenzucker und Kochsalzlösung, so wird das Wasser zu $\frac{2}{3}$, der Salzabgang $1\frac{1}{2}$ mal ersetzt, und es ergibt sich eine Dehydratation mit Hypertonie des Plasmas durch Uebersalzung.

$$G = 39 \text{ l} \quad Z = 27,2 \text{ l} \quad E = 11,8 \text{ l} \quad K = 331 \text{ mEq/l.}$$

Ueber den *Kaliumgehalt* des Blutes ist relativ wenig bekannt, wenn auch *Borchhardt* von einer Erniedrigung des Kaliumspiegels spricht.

Änderungen im *Säurebasenhaushalt* kommen durch das Schwitzen anscheinend nicht in bedeutendem Ausmass vor. Erst bei stärkerem Erbrechen von saurem Magensaft ist eine Alkalose zu erwarten.

Von Interesse sind die Tatsachen, dass sowohl eine grosse zugeführte Flüssigkeitsmenge wie auch ein Chloridmangel im Plasma die Schweissmenge vermehren, während Wasserman- gel und erhöhte NaCl-Konzentration sie vermindern.

Nieren: Ueber den Zustand der Nieren beim Hitzeschaden ist ebenfalls nicht allzu viel bekannt. Es ist anzunehmen, dass

sie auf jeden Fall bei stark erhöhter Körpertemperatur einen Parenchymschaden erleiden.

Sicher ist auch, dass ihre Funktion beim Versagen der Zirkulation wie auch beim Wasser- und Salzscha den gestört wird.

Die Diurese wird sich sowohl beim Wassermangel wie beim Salzüberschuss vermindern, während sie durch Wasserzufuhr erhöht wird und beim relativen Salzma ngel auch bei bestehender Dehydration das dem Körper doch so notwendige Wasser nicht zurückhalten kann.

Pathologische Anatomie

Da der Sektionsbefund übereinstimmend mit der Literatur *wenig Charakteristisches* bietet und ausserdem in jedem Handbuch für Pathologie beschrieben ist, soll nur kurz darauf eingetreten werden.

Regelmässig findet man frühzeitigen Eintritt einer stark ausgeprägten Totenstarre und rasche Fäulnis, nachdem sehr oft postmortale deutliche Temperatursteigerung aufgetreten ist. In der Schädelhöhle zeigt sich meist starke Hyperämie des Gehirns und der weichen Hirnhäute (kongestive Hyperämie nach *Obernier*), sehr selten eine Blutleere (*Schneider* und *Wagner*). Flächenhafte Blutsuggillationen bis ausgedehnte Hämatome finden sich bisweilen subdural. Nicht selten werden multiple punktförmige Blutungen in der Hirnsubstanz festgestellt, selten Hirnödeme. *Van Giesan* und *Ewing* fanden eine Verminderung, Verklumpung und einen Zerfall der chromaphilen Körper der Ganglienzellen. Sie betrachten sie als akut toxische parenchymatöse Degeneration des Neurons. An den Brustorganen findet man in den Lungen meist eine deutliche Blutüberfüllung, selten ein Lungenödem. Immer wieder soll man krankhafte Vorzustände der Lungen antreffen, wie Tuberkulose, Atelektasen, Verwachsungen usw. Uebereinstimmend wird beim Herzen immer der leere, kontrahierte linke Ventrikel (*Wood*, *Arndt* usw.) und die ausgedehnte und mit flüssigem Blut gefüllte rechte Kammer und Vorhof gefunden. Blutungen unter Perikard und Endokard, besonders im Septum des linken Ventrikels, sind weniger häufig. An Leber und Nieren ist meist nichts Abnormes festzustellen, doch sind hie und da trübe Schwellungen oder parenchymatöse Dissoziation dieser Organe beobachtet worden.

Genese des Todes beim Hitzschlag

Mit der Erfassung der pathologischen Physiologie und der pathologischen Anatomie des hitzgeschädigten Organismus

ist die Hitzschlagentstehung keineswegs in ihrem letzten Wesen vollständig erfasst. Noch bleibt die Frage offen, wie der Entstehungsweg von der Hitzeeinwirkung auf den Körper bis zum Hitzschlag eindeutig zu sehen und zu beurteilen ist. Im Verlaufe der Jahrzehnte sind verschiedene Theorien aufgestellt worden, die dieses Versagen des Organismus bei Hitze zu erklären versuchen.

Theorie der Leistungsbegrenzung

Für den unter Hitzeeinfluss stehenden Organismus stellen zusätzliche Beanspruchung des Kreislauf- und Atemsystems, wie es bei Hitzearbeit eintritt, eine äusserste Belastung dar. Durch einen leistungsbegrenzenden Faktor sind beide Regulationsmechanismen in ihrem Leistungsvermögen beschränkt. Die unmittelbare Ursache dieser Leistungsbegrenzung soll darin liegen, dass der nicht mehr genügende Kreislauf den Sauerstofftransport zu den tätigen Geweben nicht mehr zu gewährleisten vermag.

Theorie der urämischen Autointoxikation (Obernier und Rossbach).

Durch Anurie sollen die harnfähigen Exkretionsstoffe im Blut zurückgehalten werden. Dadurch kommt es zur urämischen Autointoxikation und zum Auftreten der Symptome, wie Bewusstlosigkeit, Koma usw.

Toxintheorie.

Toxine, welche durch die Ueberhitzung des Körpers entstehen, haben eine allgemeine Wirkung auf die zelligen Elemente, schädigen und hindern Erythrozyten an der Sauerstoffaufnahme, schädigen Herzmuskelzellen, bewirken eine akute toxische parenchymatöse Degeneration der Ganglienzellen.

Theorie der Ueberreizung lebenswichtiger Zentren (Marchand).

Nach einem Ueberreizungsstadium der lebenswichtigen Zentren der Medulla oblongata durch Hyperthermie soll es zu einem Versagen der Regulationsvorgänge kommen. Die Störung der Motilität, Sensibilität, z. T. auch der Atmung und Herzaktion, weisen nach Marchand auf den gleichen Ursprung hin.

Hitzschlag, ein traumatischer Schockzustand (Hegemann).

Durch die Hitzeüberbeanspruchung kommt es zu allgemeiner Atonie und zu Permeabilitätsstörungen der Kapillaren, damit zu Plasmaverlust und zu Mangel an zirkulierender Flüssigkeit, zu Bluteindickung und allgemeiner Ischämie (Exsikkationsschock nach Blalock).

Die akute hypokarbische Alkalose (Lenggenhager).

Durch die Hyperventilation bei erhöhter Temperatur mit ungenügender CO_2 -Abgabe bei vermehrtem O_2 -Verbrauch kommt es zur hypokarbischen Alkalose. Das überwärmte Gehirn, der Alkaloseschaden mit dem dadurch bedingten Kalziumionisierungsschaden und das O_2 -Defizit wirken sich alle zentralschädigend aus.

Weitere Theorien.

Als weitere Theorien werden genannt: das akute hepato-renale Syndrom, Vitaminmangeltheorien. *Steinhausen* betrachtete den Hitzschlag als Psychoneurose, erzeugt durch kalorisches Hirn-trauma.

Auf alle diese Theorien soll nicht näher eingegangen werden, sie mögen aber von der Mannigfaltigkeit der Ansichten ein kleines Bild geben.

Man ist heute nicht geneigt, das ganze Problem nur unter einem Gesichtspunkt zu betrachten, viel eher vermag man durch die Kombination der verschiedenen patho-physiologischen Darlegungen zu einer alles umfassenden Hitzschlag-genese kommen.

Durch die Hyperthermie des Körpers soll es zu einer relativen Nebenniereninsuffizienz kommen (evtl. nur bei Vitamin-C-Mangel, *Hotz* und *Rohr*), der Nebennierenhormonbedarf ist höher als die Produktion, und es melden sich die typischen Symptome: Ermüdung, Schwächegefühl, Leistungsunfähigkeit, Zirkulationsstörungen, Schwindel, Ohnmacht (*Asthénie tropicale* nach *Lambillon*). Andererseits spielen die Nebennierenrindensteroidoide eine gewisse Rolle in der Regulation des Mineral-, Wasser- und Kohlenhydrat-, Eiweiss-, Fett- und Pigmentstoffwechselgeschehens. Die starke Dehydration durch das Schwitzen bedingt nachweisbar einen Zelleiweissabbau; dieser vermag auch wieder den Wasser- und Salzhaushalt, der ohnehin durch Wasser- und Salzverluste (*Hypochlorämie*) schon weitgehend gestört ist, noch weiter zu beeinflussen (z. B. Steuerung oder Hemmung der Nierentätigkeit). Dazu kommt noch der nicht zu unterschätzende Faktor der Leistungsbegrenzung von Kreislauf- und Atemsystem. Das Zusammenspiel aller dieser Faktoren vermag zu dem Bilde des Hitzschlages zu führen.

Vorkommen und Ursachen des Hitzschlages

Eine genaue Festlegung, wann ein Hitzschlag eintritt oder wann nur Hitzschlaggefahr besteht, lässt sich weder aus der Summe der verschiedensten exogenen und endogenen Ursachen noch aus Laboratoriumsuntersuchungen aufstellen bis heute.

So verschieden abgestuft die Hitzeschadigungsgrade sind, so vielseitig und verschieden stark sind die Ursachen, welche

die Integrität des Organismus beeinflussen. Das wichtigste begünstigende Moment für diese Erkrankung bilden die *atmosphärischen Einflüsse* auf den Organismus; das Klima. Die *erhöhte Lufttemperatur* im Hochsommer hemmt den Prozess des Wärmeausgleichs durch Wärmeabstrahlung. Auch der Feuchtigkeitsgehalt der Luft spielt eine grosse Rolle. Ist die *absolute Feuchtigkeit*, d. h. die in der Atmosphäre vorhandene Wasserdampfmenge (mg/l), dazu noch recht hoch, oder ist das Sättigungsdefizit (Differenz zwischen maximaler und absoluter Feuchtigkeit in mg/l) recht klein, so wird die Wärmeabgabe durch Perspiratio behindert. Das subjektive Empfinden fühlt dann eine schwüle und drückende Luft. Dabei ist der Dampfdruck $\geq 14,0$ mmHg. Solche Luftverhältnisse haben wir besonders bei Gewitterneigung, in den Tropen nach der Regenperiode und im Dschungel. In der Wüste tritt allerdings Hitzschlag meist nur bei sehr hohen Temperaturen ein, da die Luft sehr trocken ist, während er bei Bedingungen wie im Dschungel, wo ein grosser Luftfeuchtigkeitsgehalt besteht, viel früher entsteht.

Einen entscheidenden Einfluss hat auch die *Windgeschwindigkeit*. Absolute Windstille kommt praktisch nicht vor in freier Natur. Und doch beeinträchtigt die «Windstille» die Wärmeabgabe der Haut durch Leitung und Wasserverdunstung ganz erheblich. Die *Sonnenbestrahlung* mit ihrem erwärmenden Einfluss nimmt für die Wärmestrahlung pro 100 m Höhendifferenz ca. 1 % zu. Intensive Bestrahlung macht sich besonders auf den Kleidungsstücken des der Hitze ausgesetzten Menschen bemerkbar, doch spielt die Farbe eine bedeutende Rolle. So absorbiert ein schwarzer Stoff das Doppelte der erwärmenden Sonnenenergie als ein weisser. Ist die Temperatur der Bekleidung durch die Strahlung auf Körpertemperatur angelangt, so wird durch Strahlung und Leitung keine Wärme mehr abgegeben. Bei einer direkten, übermässigen Schädelbestrahlung kann es zur lokalen Ueberwärmung des Gehirns mit Ueberreizung besonders der sensiblen, lebenswichtigen Zentren, zur Hyperämie und selbst zu exsudativen Entzündungen kommen. Es tritt das Bild ein, das wir unter Insolation (Sonnenstich) kennen. In den letzten Jahren gewann das Problem der Bioklimatik in der Medizin ein grosses Interesse.

Die *meteorologischen Begriffe*, wie Wetterfront, Okklusion, Zyklone, Depression, wurden von der medizinischen Klimatologie übernommen im Bewusstsein, aus ihrer Erforschung und ihrer Erkenntnis der Beeinflussung des Organismus wichtige Fortschritte zu erzielen. Auch in den Fragen der atmosphärischen Kondensationskerne und ihrer Beeinflussung durch Temperatur, Luftfeuchtigkeit und Ladung besitzt die bioklimatische Forschung noch zu wenig Erkenntnisse, um die dadurch verursachten Befindungsstörungen wesentlich beurteilen zu können.

Eine Häufung von Wärmeschädigungen tritt auch im Militärdienst auf langen Märschen in glühender Hitze auf. Die Wärmeproduktion durch die Marschleistung, die Wärmestauung durch die unzweckmässige Uniform und die Hemmung der Windgeschwindigkeit in der mit der Marschkolonne transportierten Luftsäule bringen die Voraussetzungen, um bei einem dazu disponierten Soldaten eine vorübergehende oder dauernde Schädigung zu bewirken.

Unter die *individuellen Voraussetzungen* zählen wir vor allem Einflüsse der Lebens- und Beschäftigungsweise der Hitzegeschädigten: Mangel an Training, mangelhafte Akklimatisation, besonders in den Tropen, ungenügender Schlaf, Alkoholgenuss, ungenügende und ungeeignete Nahrungs- und Flüssigkeitsaufnahme. Besonders Krankheiten der Atmungsorgane, wie die bereits erwähnte Lungentuberkulose, Adhäsionen, Emphysem, dann auch Herz- und Kreislauferkrankungen, wie Endo- und Myokarditiden oder deren Folgen, beeinträchtigen die äusserst beanspruchten Regulationssysteme. Adipositas bedingt mit ihrer Erhöhung des Körpergewichtes eine Vermehrung der Herzarbeit und besonders eine Wärmeleitfähigkeitsverminderung. Auch sollen Leute mit neuropathischer Disposition eher zu Hitzegefährdung neigen (psychoneurotische Hitzeschlagskandidaten). *Högger* nennt in seiner Schrift «Arbeit bei grosser Hitze» industrielle Unternehmungen, die er auf die Hitzegefährdung selbst untersucht hat. Am meisten gefährdet sind sicher die Randgoldminen in Südafrika, die in Tiefen von 2400 m liegen, mit Trockentemperaturen von 49 Grad (*Mavrogordato* und *Pirow*). In unserer Industrie stellen ein gewisses Gefahrenmoment verschiedene Abteilungen von Webereien, Schlichtereien, Strumpfformereien, Waschanstalten, Zuckerfabriken, Sudhäuser in Brauereien, Ziegeleien und Tonfabriken, Eisengiessereien und Walzwerke und

Glashütten dar. Früher fand man auch Hitzschlagkandidaten bei den Schiffsheizern der grossen Ozeandampfer. Von französischen Autoren wird immer wieder der «coup de chaleur du nouveau-né» erwähnt, der vor allem in Nordafrika (Tunis) auftreten soll. Der heisse Südwind (Sirocco) bewirkt eine äusserst rasche Hyperthermie, einen Gewichtsverlust durch Dehydratation unter dem Einfluss einer ausgesprochenen Trockenheit der hohen Umgebungstemperatur. Es kommt dadurch auch zu Autoseptikämie. Im Jahre 1940 sollen daran nach einer Statistik 1717 Kinder gestorben sein. Nach *Finkelstein* sind Kinder, die einem Hitzschlag erliegen, meist erblich belastet. Sie sollen Nachkommen von Arthritikern, Diabetikern, Alkoholikern sein, also «hydrolabile Typen».

Das Saunabad, wie es bei uns gehandhabt wird, mit der zeitlich beschränkten Hitzeeinwirkung bei relativ niedriger Luftfeuchtigkeit, führt wohl zu tropfbarer Schweissbildung und Wärmestauung, doch kann eine Hitzeschädigung innerhalb so kurzer Zeitspannen nicht eintreten. Anders verhält es sich aber bei Sportsleuten (Boxern), die das Hitzebad benützen, um «Gewicht zu machen» und zur Erreichung einer gewünschten Abnahme dann längere Zeit in diesen Hitzebädern sitzen, wobei es hin und wieder zur Hitzezwischenfällen kommen soll.

Bei sportlichen Höchstleistungen (z. B. Wettmärschen) mit maximalem Ehrgeiz wie auch im militärischen Disziplinverhältnis werden ohne Rücksichtnahme auf die effektive Temperatur (Wirkung, welche Lufttemperatur, Feuchtigkeit und Windgeschwindigkeit auf den Menschen ausüben) Warnsymptome, die von Wärmestauung usw. herrühren können, nicht beachtet oder unterdrückt. Diese physiologischen Sicherungen, die normalerweise so weitgehend sind, dass praktisch durch körperliche Höchstleistungen keine Schädigungen auftreten können, werden missachtet, und eine Katastrophe, meist eine (Hitze-)Ohnmacht, ist unvermeidlich.

Der Hitzschlag im Operationssaal

Das Verhalten des Patienten im Operationssaal in bezug auf seinen Wärmehaushalt ist schon wiederholt der Gegenstand von experimentellen und klinischen Untersuchungen gewesen. Von vorneherein wäre eigentlich zu erwarten, dass «Wärmezwischenfälle» nicht allzu selten auftreten sollten,

wenn an die meist erhöhte Raumtemperatur, an den hohen Dampfgehalt der Luft, an das Zudecken des Kranken und an den Umstand gedacht wird, dass die Narkose doch mehr oder weniger die vegetativen Zentren des Patienten und damit nicht zuletzt die Wärmeregulation vorübergehend ausser Betrieb setzen. Die Erfahrung hat allerdings gezeigt, dass der Hitzschlag im Operationssaal zum Glück nicht sehr häufig ist und dass es schon ein Zusammentreffen von mehreren widrigen Umständen bedarf, bis ein Hitzschlag zu befürchten ist. Für solche Fälle aber muss doch auf das Problem der Wärmerestauung im Operationssaal eingetreten werden.

Nach den bekannten und oft zitierten Untersuchungen von *Ipsen* entsteht während der Narkoseanflutung eine Temperaturerhöhung des Körpers während der ersten 20 Minuten, die dann nach gewisser Zeit langsam, aber konstant wieder abfällt. Bei schlechter Kreislauflage des Patienten oder bei der Unmöglichkeit der Wärmeabgabe nach aussen tritt ein träges oder negatives *Ipsensches* Phänomen auf. Es kommt somit unter der Narkoseeinleitung vor allem bei den analeptischen Gasnarkosen zu einer vermehrten Wärmeproduktion, während sich bei der Ausbildung der Vollnarkose oft eine Depression des Kreislaufs mit vermindertem Wärmetransport und dadurch verminderter Wärmeabgabe einstellt. Experimentelle Arbeiten über die thermometrische Diagnose eines drohenden oder vorhandenen Schockzustandes während der Narkose von *Reifferscheid* und *Zen-Ruffinen* zeigen, wie konstante Beziehungen zwischen Blutdruckverhalten und Temperaturverlauf bestehen und wie auffallende Veränderungen als Alarmzeichen sowohl für Schockzustand wie für drohenden Hitzekollaps dienen können. Eine neueste Arbeit von *Mark, Orkin* und *Rövenstine* weist darauf hin, wie bei heissem Wetter und ohne leistungsfähige Klimaanlage eine gefahrdrohende Wärmeretention während der Operation eben durchaus in den Bereich der Möglichkeit fallen könne und wie besonders bei Kindern entsprechend vorgesorgt werden müsse.

Die Wärmerestauung beim narkotisierten Kranken, die durch die Anästhesie einerseits schon begünstigt wird, kann gesteigert werden durch eine übermässige Hitze und durch eine überhöhte Dampfspannung (Schwüle), wie sie in heisser Jahreszeit in nicht gekühlten Operationssälen herrschen können und durch benachbarte Wasser-, Dampf- und Heissluftsterilisierungsanlagen möglicherweise noch verstärkt werden. Nicht zu unterschätzen ist auch das oft geübte übermässige Abdecken des Patienten mit sterilen und häufig vorgewärmten Tüchern, und auch die Hitzestrahlung nicht mehr ganz moderner Ope-

rationslampen mit ihren grossen Licht- und Wärmereflektoren ist manchmal nicht ohne störenden Einfluss. Alle diese Momente sind geeignet, die Wärmeabgabe des Organismus zu behindern oder ganz zu verunmöglichen und führen zur oft unheilvollen Wärmestauung. Nach Ansicht verschiedener Autoren spielen auch die präoperativ oder interoperativ verabfolgten Belladonna-Alkaloide eine wesentliche Rolle. Das Atropin wird als Mittel gegen die Hypersekretion der Respirations-schleimhäute und als Droge mit entspannender Wirkung auf die glatte Muskulatur der Atemwege und mässig anregender Wirkung auf die Atmung verwendet und soll auch durch Unterbrechung von vagovagalen Reflexen einen Schutz gegen Herzkomplicationen gewähren. Die sekretionshemmende Wirkung des Atropins greift aber auch tief in den Mechanismus der Wärmeregulation ein, weil gleichzeitig die Durchfeuchtung der Haut und die Wärmeabgabe durch die Schweissbildung unterdrückt wird.

Wenn durch solche exogene Faktoren die Hitzestauung des Kranken ermöglicht wird, so mag sich das in einem raschen, weichen und kleinen Puls äussern, in Blutdruckabfall, unregelmässiger Atmung, in Kreislaufversagen und Temperaturanstieg und kann allein oder in Summation mit dem Operationstrauma zu einem gefährlichen Schockzustand führen. In vereinzelt Fällen sind schon schwere Hitzschläge mit ganzlichem Versagen aller körperlichen Regulationsmechanismen und tödlichem Ausgang im Operationssaal beobachtet worden.

Symptomatologie des Hitzschlages

Nachdem in vorangegangenen Ausführungen die pathologische Physiologie des Hitzschlages betrachtet worden ist und daraus schon verschiedene Hinweise auf die klinischen Erscheinungen gegeben worden sind, mag der Abschnitt über die Symptomatologie relativ kurz gefasst werden.

Der hitzegeschädigte Patient erweckt den Eindruck eines schwerkranken Menschen. Kopfschmerzen, Uebelkeit, Schweregefühl, Willenlosigkeit bis Erschöpfungsgefühl kennzeichnen das subjektive Befinden des Kranken. Im fortgeschrittenen Hitzschlagstadium finden sich oft Dämmerzustände und Delirien, möglicherweise auch die Symptome der Ohnmacht, des Sopors und des Komas. Haut und sichtbare Schleimhäute sind zyanotisch oder blass. Die Oberfläche des Körpers ist oft noch

mit kaltem, tropfbarem Schweiss bedeckt, während sie in späteren Stadien trocken und schweisslos ist. Der Puls ist beschleunigt, klein, weich und fadenförmig. Es kommt zu venöser Stauung, gegebenenfalls sogar zu Lungenödem.

Die Körperfunktionen sind teils erhöht, teils herabgesetzt, und es ergeben sich folgende Befunde:

a) *Peripherer Kreislauf*: Die zirkulierende Blutmenge ist stark vermindert, und es zeigen sich venöse Stauung, Vasodilatation, Sinken des Blutdruckes vor allem in der Diastole, weniger in der Systole.

b) *Blut*: Nach starkem Schwitzen treten Hämokonzentration und Azidose auf. Die Abnahme der Erythrozytenzahl pro cm^3 und gleichzeitige Erhöhung der Proteinkonzentration sind möglicherweise durch Einfließen von eiweissreicher Gewebsflüssigkeit zu erklären.

c) *Atmung*: Die Atmung ist wechselnd. Neben Frequenzsteigerung wird auch Chyne-Stocksche Atmung beobachtet. Die Vitalkapazität ist vermindert.

d) *Stoffwechsel*: Der Grundumsatz ist gesteigert, die Nierensekretion kann erhöht sein, ist aber meist stark reduziert (Oligurie) oder versiegt ganz (Anurie).

e) *Nervöse Störungen*: Es finden sich u. U. sensorische Auraerscheinungen, Farbsehen, Flimmerskotome, Hörstörungen, zerebrale Herderscheinungen: Monoplegie, Hemiplegie u. a.

f) *Extremitätenstörungen*: Auftreten von Krämpfen, fibrillären Zuckungen, Nystagmus, Krallenstellung der Hände, Ataxie.

g) *Weitere Symptome*: Stark erhöhte Körpertemperatur, Magendarmstörungen, Erbrechen, Durchfälle.

Bei der Untersuchung auf Hitzegefährdung oder Hitzeerkrankung sind vor allem folgende Bestimmungen vorzunehmen:

Messung der Körpertemperatur, wenn möglich immer Hauttemperatur (Peripherie) und Rektaltemperatur (Kern) messen (Thermometrie). Zugleich mit einer eventuellen Wärmeüberlastung erfasst man damit auch einigermassen, wenn auch ungenügend, die Kreislaufsituation.

Die Kontrolle der *Pulsfrequenz* ist unerlässlich. Vermehrung um 10—14 Schläge und mehr tritt in ca. 100 % der Fälle ein. Der *Blutdruck* kann ein Ansteigen der systolischen Werte

in ca. 60 % der Fälle um 10—20 mmHg bewirken mit nachfolgender Senkung um 10—15 mmHg unter den Ausgangswert. Der diastolische Wert sinkt fast immer, und die Blutdruckamplitude ist dadurch vergrössert. *EKG*-Veränderungen wurden früher erwähnt. Der *Liquor* zeigt einen erhöhten Druck und eine Lymphozytose in schweren Fällen. Die *Oligurie* ist wegen Wassermangels meist sehr ausgesprochen. Wie weit die bestehende Hypochlorämie die Nierenarbeit ausserdem hindert, ist nicht nachzuweisen. Die Bestimmung der *Schweissmenge* gibt brauchbare Werte zur Bestimmung des Wasserverlustes, ist jedoch praktisch schwierig durchzuführen. Am wichtigsten sind die Untersuchungen auf Harnstoffgehalt, Alkalireserve, Chloride, Proteine des Plasmas und Totalbase (osmotischer Druck) und die Bestimmungen des Natriums, Kaliums und Kalziums und des Blut-PH. Da sehr oft eine Bluteindickung vorliegt, ist die Erhöhung der Blutchemiewerte und die beträchtliche Chloridabnahme nur scheinbar. Mit der Bestimmung der Wasservolumina im zellulären und extrazellulären Raum, wie sie in den letzten Jahren mit Isotopen Natriumrhodanat und Antipyrin entwickelt wurden, sind neuere Hilfsmittel zur genaueren Diagnose und zur Behandlung der Störungen im Wasserhaushalt bei hitzeerkrankten Menschen gegeben. Ueber die Bestimmung und Auswertung der blutchemischen Daten finden sich bis heute recht wenige Angaben in der Literatur.

Talbott gab 1937 Werte an, welche er an Spitalpatienten ermitteln konnte. Man findet bei seinen Bestimmungen regelmässig eine Erniedrigung der Alkalireserve, der Chloride und des Natriums, eine Erhöhung der Phosphate, des Blut-PH und der Proteine. Kalium und Kalzium wurden als leicht erhöht gefunden. Auch *Hall* und *Wakefield* konnten experimentell nachweisen, dass die Alkalireserve bei Hitzschlag in allen Fällen bis auf 10 Vol% vermindert sein kann. Sie bestimmten ferner deutliches Ansteigen der Milchsäure im Blut sowie eine Vermehrung des Blutstickstoffes.

Nun ist aber ohne weiteres anzunehmen, dass gerade eine genaue Kenntnis des Wasser- und Salzhaushaltes im Hitzeschädigungsproblem von grosser Wichtigkeit sein muss. Sicher ist die Diagnose eines Hitzschlages oder sogar diejenige einer drohenden Hitzschlaggefahr viel aufschlussreicher, wenn man nicht nur über den augenscheinlichen Mangel an Wasser, sondern auch über die ionischen Verhältnisse und den osmoti-

schen Druck des Plasmas orientiert ist. Das Wissen um diese Verhältnisse gibt brauchbare Anhaltspunkte für eine sachgemässe Behandlung und mag erlauben, die Mortalität des Hitzschlages noch weiter zu senken.

Prophylaxe der Hitzeschädigung

Die Prophylaxe der Hitzeschädigung hat das eindeutige Ziel, nicht nur einen regelrechten Hitzschlag zu vermeiden, sondern schon beginnende Störungen durch Wärmestauung überhaupt nicht aufkommen zu lassen. Die einschlägigen Massnahmen sind zahlreich und in ihrem Wesen sehr vielgestaltig, je nachdem sich die äusseren Umstände gestalten, die möglicher- oder wahrscheinlicherweise zu einer Wärmeretention führen können.

Allgemeine prophylaktische Vorkehrungen tendieren einmal dahin, geschlossene Räume, in denen sich Menschen aufhalten, vor zu starker Erwärmung zu sichern, wozu nicht weiter auszuführende organisatorische und technische Hilfsmittel dienen. Auch der Kleidung gebührt entsprechende Aufmerksamkeit, doch soll auch darauf an dieser Stelle nicht näher eingetreten werden, da die Lehren der Hygiene darüber genügend Auskunft geben.

Für die Arbeiter in Hitzebetrieben (Heizer, Glasbläser, Giesser u. v. a.) sind die prophylaktischen Aufgaben natürlich von ausserordentlicher Wichtigkeit. Auch darüber besteht schon eine grosse Literatur, und es sei besonders auf die allgemein orientierende Arbeit von *Högger* hingewiesen. Von Interesse ist, dass für solche Betriebe eine Auslese von besonders geeigneten Arbeitertypen gefordert wird und dass auch ein beständiges Ueben oder ein Angewöhnen an die Hitze verlangt wird. Ein solches Hitzetraining ist geeignet, die Reaktionslage des Kreislaufs zu verbessern, die Regulation durch die Schweissbildung rentabler zu gestalten und das Absinken der Alkalireserve unter Hitzewirkung weitgehend zu vermeiden.

Auch für den Aufenthalt in tropischem Klima bestehen bestimmte Regeln, die ganz speziell für den tropenungewohnten Neuling zu beachten sind. Dieses Problem ist besonders brennend geworden, als es im letzten Weltkrieg galt, Tausende und aber Tausende von Soldaten aus gemässigten Zonen an den

Aufenthalt und an die Kriegsarbeit in heissen Ländern zu gewöhnen. Ein anschauliches Bild über diese Fragen gibt die Monographie von *Adolph*: «Physiology of man in the desert.»

In unsern Landen sind es wohl die Militärärzte, die sich am ehesten mit der Wärmestauung befassen müssen, treten doch im Militärdienst die meisten Hitzschläge auf. Dies wird durch verschiedene Faktoren bedingt. Der Soldat hat auch bei heissem Wetter seinen Dienst zu tun und kann sich wenig nach der Witterung richten. Er trägt seine Uniform, die an sich wenig für Tropentage eingerichtet ist und nicht genügend Möglichkeit zur Abgabe gestauter Wärme bietet. Das oft schwere Gepäck verlangt eine erhöhte körperliche Leistung mit vermehrter Eigenwärmeproduktion, führt beim nicht genügend trainierten Wehrmann zu frühzeitiger Ermüdung und oft vorzeitiger kardialer Leistungsabnahme. *Schumberg* und *Zuntz* haben u. a. nachgewiesen, dass eigentlich nur Gepäckgewichte unter 22 kg ohne Nachteil für das Befinden des Trägers auf dem Marsch sind. Wenn zudem die Riemen des Tornisters am Hals auf die Gefässe drücken, mag sich eine besondere Stauung der Venen des Kopfes und damit eine erhöhte Wärmestauung im Gehirn einstellen. Von besonderer Gefahr ist das Marschieren in geschlossener Kolonne, weil hier eine Dunst- und Wärmesäule in der Kolonne mitgeführt wird, die feuchtigkeitsgesättigter und höher temperiert ist als die Luft ausserhalb der Marschordnung. Eine Flüssigkeitszufuhr zum Ersatz der abgegebenen Schweissflüssigkeit ist aus äussern Gründen oft unmöglich. Und unter diesen hemmenden Umständen müssen ausserdem vollwertige, u. U. maximale körperliche Leistungen vollbracht werden, ganz abgesehen von der aus Pflichtgefühl und aus Ehrgeiz geleisteten weiteren Ueberanstrengung.

Die vom Truppenführer oder vom Militärarzt bei Hitze anzuordnenden Vorbeugungsmassnahmen ergeben sich aus den obigen Ausführungen von selbst. Es handelt sich um folgendes: Verlegen der Hauptarbeit in die Morgen- oder Abendstunden, Verminderung der Kleidung und der Lasten, weitgehende Marscherleichterungen, Marschieren in geöffneter Formation, vermehrte Marschhalte an schattigen, dem Winde zugänglichen Stellen. Dem Trinkregime ist volle Aufmerksamkeit zu schenken, wobei sowohl auf genügende Flüssigkeitszufuhr wie auf Zufuhr von Kochsalz zu achten ist. So ist es

wohl angezeigt, dann, wenn keine Salze mit der Nahrung aufgenommen werden können, Salzlösungen zu verabfolgen, z. B. 2 % Salzwasser, Fleischbrühe, Milch (*Hirt*) oder Salzpillen abzugeben. Vor alkoholischen Getränken bei grosser Hitze wird im allgemeinen gewarnt, da sie u. U. die normale Wärmeregulation stören und als Narkotika die ersten Symptome einer drohenden Hitzeschädigung verwischen können.

Dem Arzt erwächst die weitere Aufgabe, die marschierende Mannschaft immer wieder zu kontrollieren, um bei entstandener Hitzeerkrankung einzelner Wehrmänner oder ganzer Abteilungen prophylaktisch und therapeutisch sofort eingreifen zu können.

Die Tatsache, dass durch ein systematisches Training und eine planmässige Gewöhnung an Marschleistungen die Gefahr eines Hitzschlages stark vermindert werden kann (*Walinski*), ist wenigstens bei längeren Diensten entsprechend in Betracht zu ziehen. Der Umstand ferner, dass in unserm Lande besonders ausgesprochene regionale Unterschiede in bezug auf Hitzeeinwirkung vorhanden sind (sonnenbestrahlte, windstille Täler einerseits und durchwindetes offenes Gelände und Wälder anderseits), mag auch dazu führen, bei Tropenwitterung die Uebungsplätze in geeigneter Weise innerhalb des Rahmens der gebotenen Möglichkeiten auszuwählen.

Therapie des Hitzschlages

Die Therapie bei eingetretener Hitzeschädigung richtet sich naturgemäss nach der Form und der Schwere des Zustandsbildes.

Der Kranke ist aus der heissen Umgebung zu entfernen und muss entkleidet werden. Das Bewinden mit Tüchern oder mit einem Ventilator sowie kühle Waschungen oder Bedecken des Körpers mit feuchten Kompressen sind die ersten mechanischen Massnahmen zur Körpertemperatursenkung. Auch das Auflegen von Eisbeuteln ist als besonders wirkungsvoll zu empfehlen. Zur Besserung der Zirkulation dient die Massage der Extremitäten, doch soll diese Massnahme nicht zu intensiv ausgeführt werden und darf nach *Fantus*, *Nicholls*, *Heilmann* und *Montgomery* nicht weitergeführt werden, sobald eine allgemeine Abkühlung auf 38,5 Grad (rektal) eingetreten ist, weil sonst Kollapsgefahr droht.

Von grundsätzlicher Wichtigkeit ist die Zufuhr von Flüssigkeit und Kochsalz, um die durch das Schwitzen entstandenen Abgänge dieser Stoffe zu ergänzen. Solange dieser Ersatz per os möglich ist, solange die Nieren normal funktionieren, bestehen keine Schwierigkeiten. Handelt es sich jedoch um einen bewussten Kranken, der mit Infusionen versorgt werden muss, dann ist von vorneherein eine gewisse Vorsicht geboten. Das Ziel dieser Ersatztherapie besteht darin, wieder normale Verhältnisse im Wasser- und Salzhaushalt zu schaffen und dabei doch lieber einen gewissen Fehlbetrag in Kauf zu nehmen als eine Ueberdosierung mit Wasser und Salz oder beiden Stoffen zugleich. Daran zu denken ist ferner, dass der eingetretene Verlust der Verlust einer hypotonischen Salzlösung ist und dass die Substitution durch relativ mehr Wasser als Salz zu geschehen hat. So wird es sich empfehlen, zuerst Infusionen mit 5 % Glukoselösung zu verabfolgen und anschliessend in geringerer Dosierung eine Infusion von physiologischer Kochsalzlösung einzuschalten. Durch Laboratoriumsuntersuchungen ist vor allem der Kochsalzgehalt oder die Totalionenkonzentration im Plasma (Gefrierpunktbestimmung) zu kontrollieren, und es darf wohl angenommen werden, dass eine Kochsalzzufuhr noch nicht dringend ist, solange noch eine Hyperchlorämie oder eine Hypertonie des Plasmas infolge Bluteindickung besteht. Zeigt sich eine Erniedrigung der Salzkonzentration unter die Norm, so ist bei guter Nierenfunktion zur Kochsalzinfusion überzugehen, während bei ausgesprochener Oligurie oder Anurie die Wasserzufuhr zu reduzieren oder zu stoppen ist.

Kreislaufmittel werden in mittleren Dosen oft notwendig sein, z. B. Coramin, Coffein, Cardiazol, Veritol. Reine Herzmittel kommen dann in Betracht, wenn bereits eine Herzinsuffizienz festzustellen ist. Bei den asphyktischen Formen des Hitzschlages findet die Sauerstoffbeatmung ihre Indikation.

Angezeigt sind ferner rasch wirkende Nebennierenrindenpräparate, da auf Grund gewisser Hitzschlagtheorien das Versagen der Nebennierenrindenhormone von massgebendem Einfluss sein soll.

Bei Schmerz- und Erregungszuständen ist symptomatisch vorzugehen. Von eigentlichen Narkotika wird zwar gewarnt wegen ihrer zentral-depressiven Wirkung, doch soll z. B. Mor-

phin günstig auf Zirkulation, Stoffwechsel und Diurese wirken. Ueber den Nutzen von Ganglienblockern und über die Hibernation beim Hitzschlag bestehen noch keine greifbaren Erfahrungen, doch sind solche Massnahmen durchaus in Erwägung zu ziehen.

Das Wissen um die richtigste Behandlung der Hitzegeschädigten ist auch heute noch nicht sehr ausgedehnt, obwohl durch angelsächsische Forschungsgruppen während des letzten Krieges, die zum Teil in klimatisch ungünstigen Zonen tätig gewesen sind, reichlich an den einschlägigen Problemen gearbeitet worden ist. Trotzdem wird es heute schon möglich sein, durch die bekannten prophylaktischen Vorkehren, durch eine verbesserte Diagnosestellung und durch eine auf der pathologischen Physiologie basierende und durch Laboratoriumskontrollen geleitete Therapie die schweren Hitzschlagfälle mit tödlichem Ausgang weitgehend zu verhüten.

Literatur:

- Adolph:* Am. J. Physiol. 123, 486 (1938). Physiology of man in the desert. Interscience publishers, New-York, 1947.
- Allan:* Einfluss des Gewichtemachens bei Sportsleuten. J. A. M. A. 127, (1946 XII).
- Arndt R.:* Zur Pathologie des Hitzschlages, Berlin. Klin. Wschr. 1876, S. 422 ff.
- Barcroft und Marshall:* Physiol. 58, 145 (1923).
- Benedict:* Mayo Foundation, Philadelphia 1925.
- Benz Karl:* Stammgangliengefässverkalkungen bei Hitzschlag, Diss. Zürich, 1936.
- v. Berde B.:* Ueber die Bedeutung der hormonalen Wärmeregulation. Schweiz. med. Wschr., S. 1347 (1947).
- Berry:* Biochemische Z. 72, 285 (1916).
- Borchardt:* Pflügers Archiv 214, 169 (1926).
- Büttner K.:* Physikalische Bioklimatik, Leipzig, 1938.
- Clark R. E., Orkin L. R., Rovenstein E. A.:* Body temperature during anesthesia. Arch. Surg. 68, 379, 1954.
- Debay Jaques:* Le coup de soleil, thèse 1936, Montpellier.
- Dorno:* Allg. Meteorol. und Klimatol., Braunschweig, 1924.
- Ebbecke U.:* Der Gesichtsreflex des Trigeminus als Wärmeschutzreflex des Kopfes. Klin. Wschr. 23, 17, Mai 1944.
- Galeotti:* Biochem. Z. 46, 173, 1912.
- Hall und Wakefield:* A study of experimental heat stroke, J. A. M. A. 99, 117, 1932.
- Henschen C.:* Lehrbuch der Chirurgie 1949, Schwabe, Basel.

- Heusser H.*: Der Wasser- und Salzhaushalt in der Chirurgie. Helv. Chir. Acta, 1950. Fortschritte der Lehre vom Wasser- und Salzhaushalt. Deutscher Chirurgenkongress, München, 1952.
- Hiller A.*: Hitzschlag und Sonnenstich, 1917.
- Högger*: Industrielle Arbeit bei grosser Hitze, Bern, 1947.
- Ipsen*: Arch. klin. Chir. 169, 3, 585, 1932.
- Killian*: Wirkung der Narkose auf den Wärmehaushalt, 1953.
- Lambillon*: La gastrite tropicale et son traitement par la désoxy-corticostéron. An. Soc. belge méd. trop. 29, 567, 1949. La corticostéron dans le traitement de l'asténie tropicale. Ann. Soc. belge, méd. trop. 28, 239, 1948.
- Lenggenhager*: Was ist Hitzschlag? Schweiz. med. Wschr. 6, 1948.
- Marchand F.*: Die thermischen Krankheitsursachen, Handbuch der allg. Path. Krehl-Marchand, Band I, 49, 1909, Leipzig.
- Marsh F.*: Histamine and Heat stroke, Brit. Med. J. 116, 1052, 1948.
- Mavrogordato und Pirow*: J. S. Afr. Inst. Eng. 25, 25, 101, 1927.
- Meyer H.*: Die Wärmeregulation im menschlichen Körper. Klin. Wschr. 1935, KK. 962.
- Murlin und Burton*: Human calorimetry, a semi-automatic respiration calorimeter, J. nutr. 9, 233, 1935.
- Reifferscheid*: Das Verhalten von Wärmeabgabe und Kreislauf während Operation und Anästhesie, 1952.
- Schickele E.*: Environnement and fatal heat stroke. Milit. Surg. 1947, 100/3, 23.
- Schröder*: Körpertemperatur, Atmung und Kreislauf in der Sauna. Med. Welt, 1952.
- Talbott, Dill, Edwards, Stumme und Gosolatio*: J. ind. Hyg. 19, 258, 1937.
- Thauer*: Wärmезentrum und Wärmeregulation. Klin. Wschr. 1941, II, 969.
- Tigerstedt E.*: Die Produktion von Wärme und Wärmehaushalt. Handbuch der vergl. Physiologie, Bd. III/2, S. 1.

